

Flexibilitätsbedarf in europäischen Langfristszenarien bis 2050

Eine Sensitivitätsanalyse

Felix Cebulla



Wissen für Morgen



Agenda

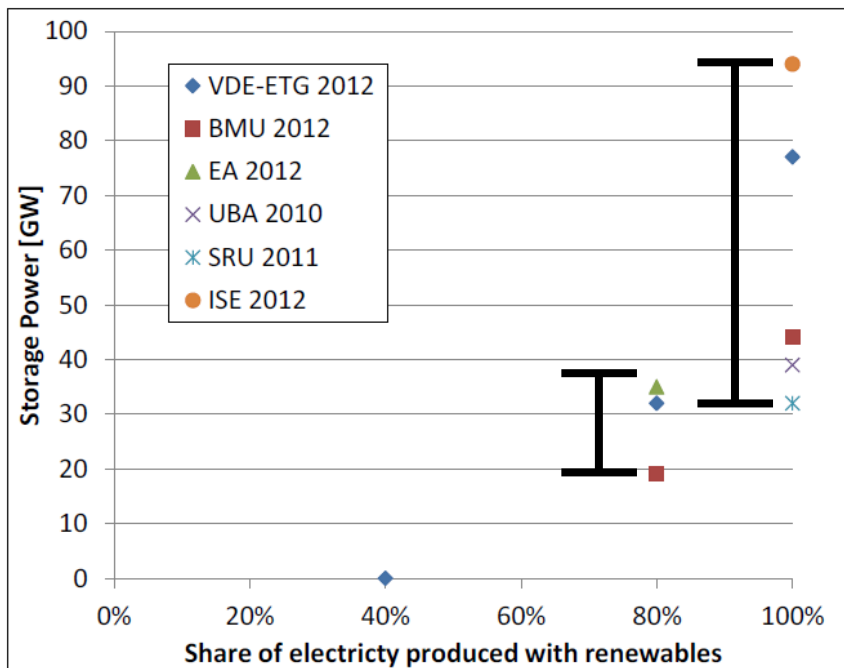
1. Motivation & Ziel
2. Methodik
 - Modell
 - Annahmen
 - Szenario
3. Ergebnisse
4. Konklusion & Ausblick



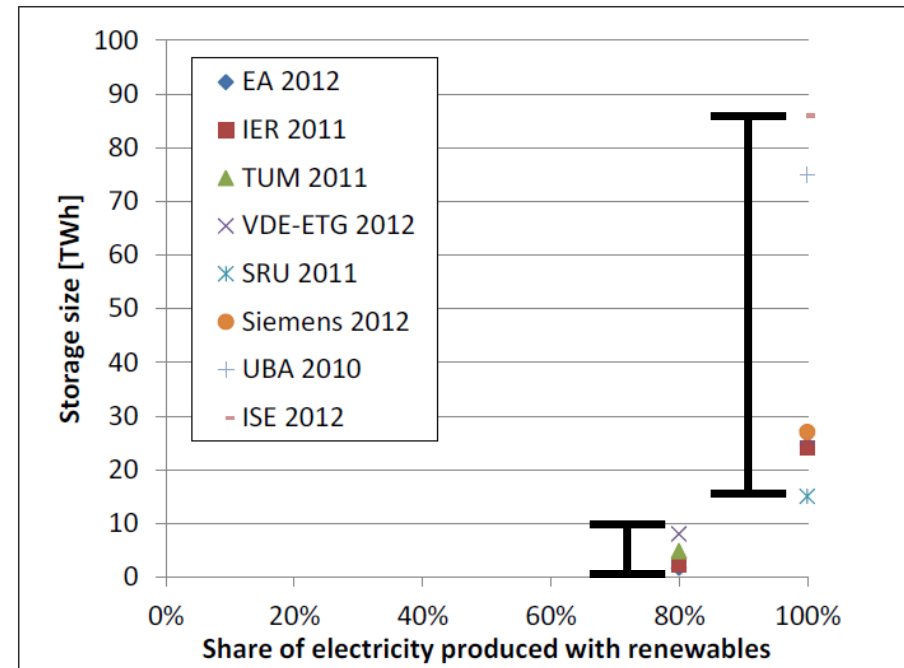
Motivation & Ziel

- Untersuchungen zum zukünftigen Stromspeicherbedarf (in Europa) weisen große Bandbreiten auf (Lade-/Entladeleistung, Speicherkapazität)

Entladeleistung [GW]



Speicherkapazität [TWh]



Motivation & Ziel

Wie robust sind die Ergebnisse hinsichtlich des Stromspeicherbedarf vor dem Hintergrund unsicherer energiewirtschaftlicher, politischer und technischer Rahmenbedingungen? → Sensitivitätsanalyse

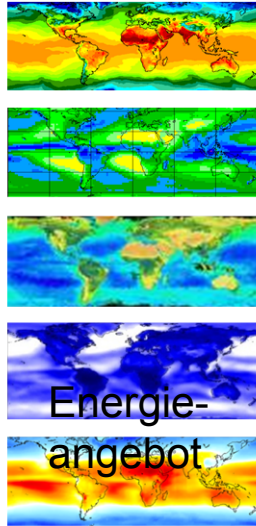
Untersuchung des Einfluss von:

- a) Brennstoff- u. Emissionskosten
- b) Netzszenarien/-ausbau
- c) Zugelassene Abregelung der fluktuierenden Erneuerbaren
- d) Zubaupotenziale
- e) Kostenannahmen Investitionen
- f) Szenario vs. „Grüne Wiese“-Optimierung

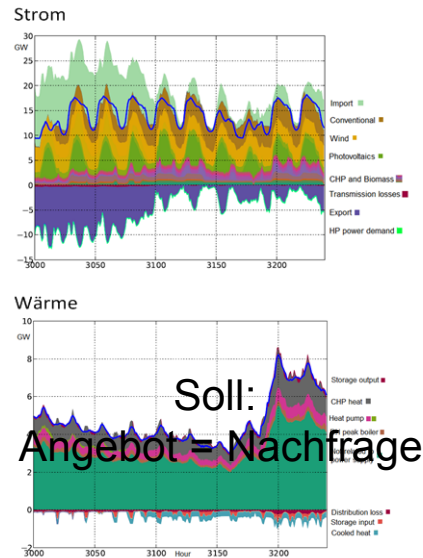


Methodik: Modell

Input:
Potenzialanalyse



Berechnung:
Energiesystem-Optimierung

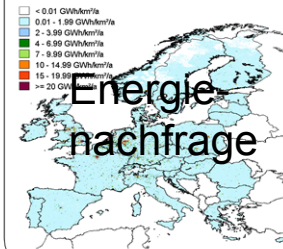


Input:
Nachfrageprofile

Strombedarf

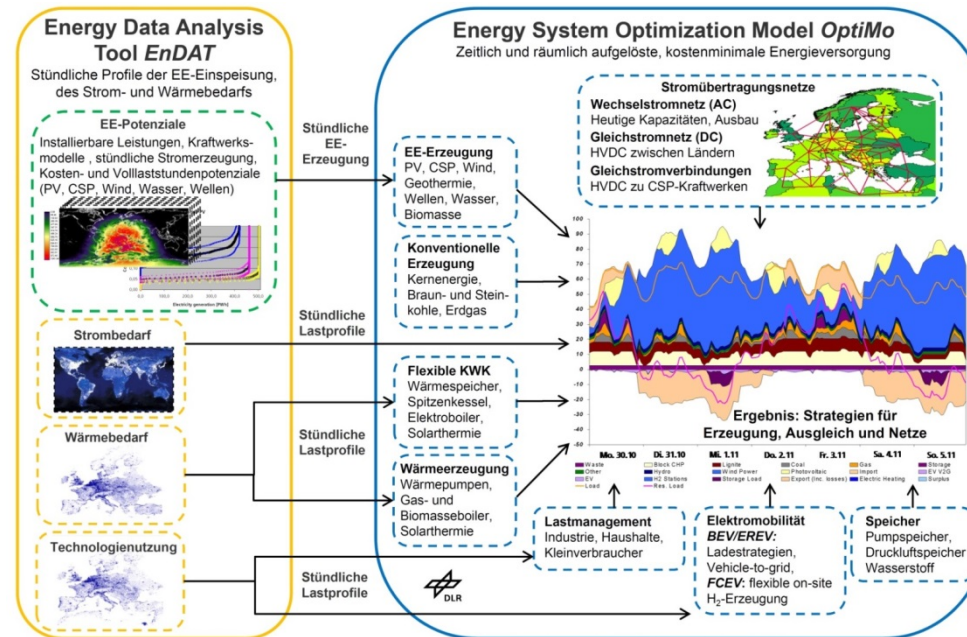


Wärmebedarf



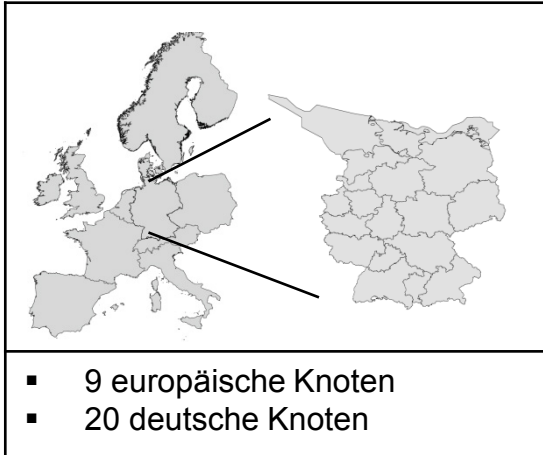
Methodik: Modell

- Lineares bottom-up Optimierungsmodell REMix (GAMS)
- Kostenminimierende Betriebs- und Zubauoptimierung
- Strom-, Wärme- und Transportsektor; H₂-Infrastruktur
- Stündliche Auflösung, hohe räumliche Auflösung
- Rund 20 Technologiemodule für unterschiedliche Anwendungen:
 - Validierung und Konstruktion von Langfristszenarien
 - Bewertung von Flexibilitätsoptionen
 - Kurz- und mittelfristiger Kapazitätzubau

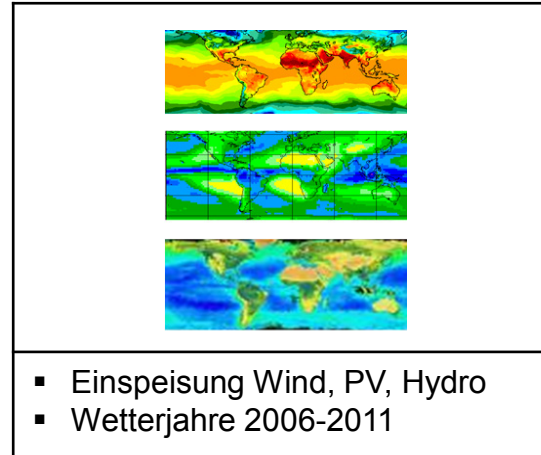


Methodik: Annahmen

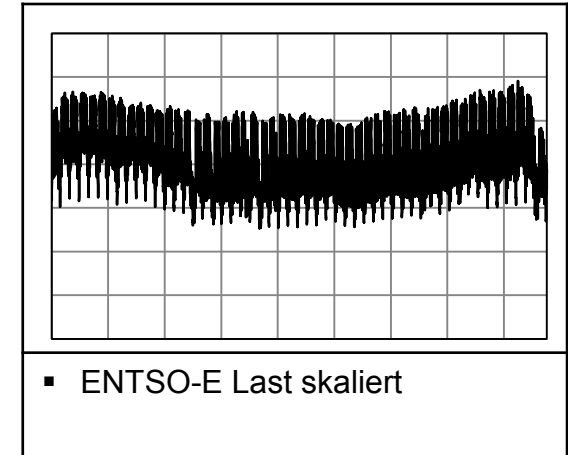
Regionale Auflösung



Erneuerbares Dargebot

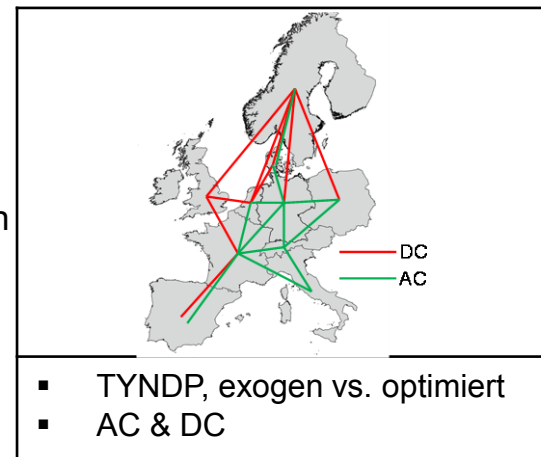


Last

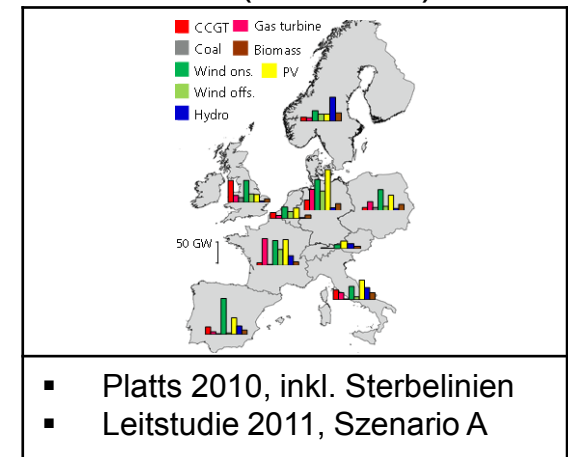


- Stündliche Auflösung
- Nur Stromsektor
- 6 Speichertechnologien: CAES, Li-Ionen, PHS, H₂, Redox-Flow, Bleisäure
- Annahmen zu Invest und Preispfaden (CO₂, Brennstoffe)
- Szenario vs. grüne Wiese (RE-Anteil >80%)
- Szenarien zur zugelassenen, technologiespezifischen Abregelung

Netz

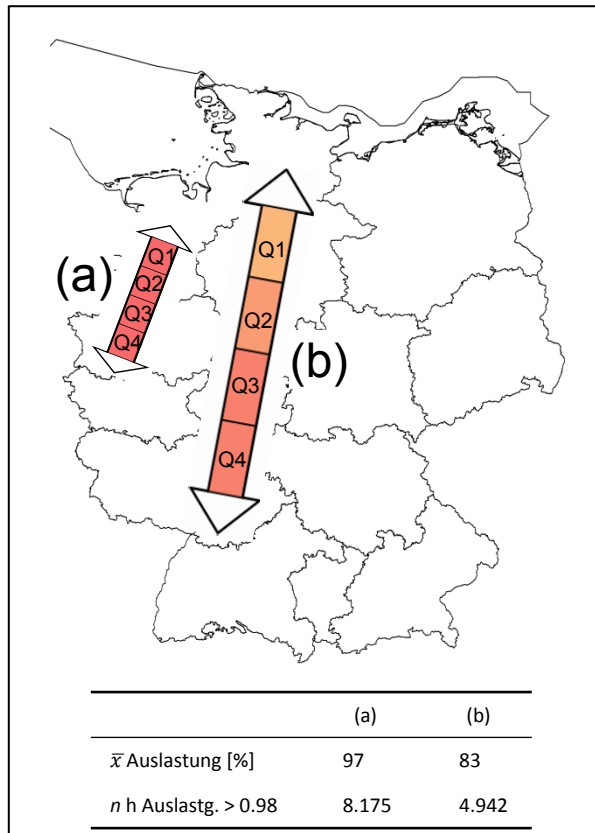


Kraftwerke (EE/konv.)

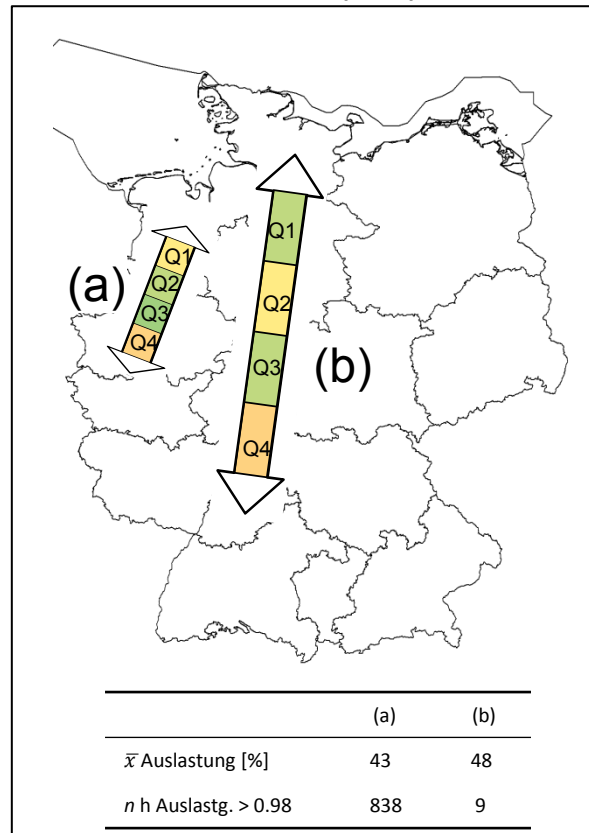


Methodik: Annahmen Netz

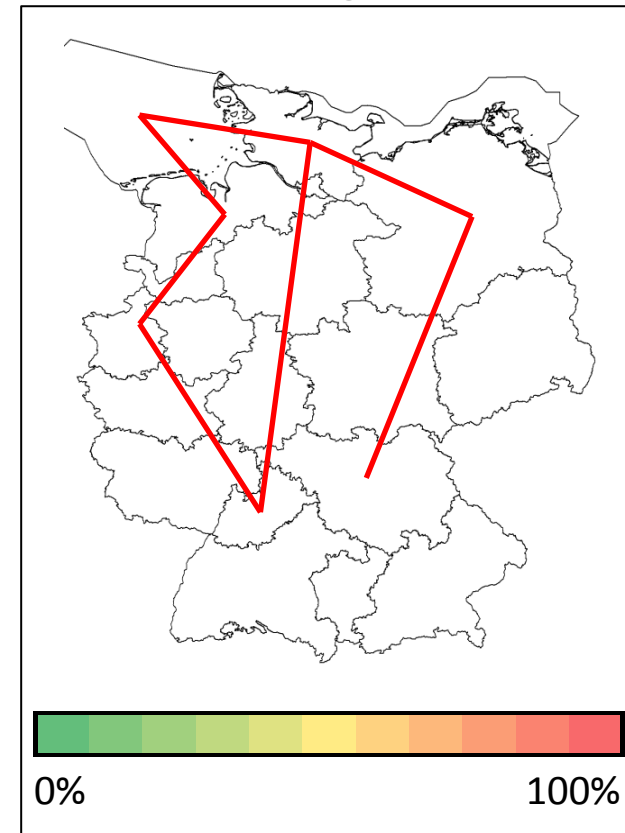
TYND plan (G-)



Verstärktes Netz (G+)

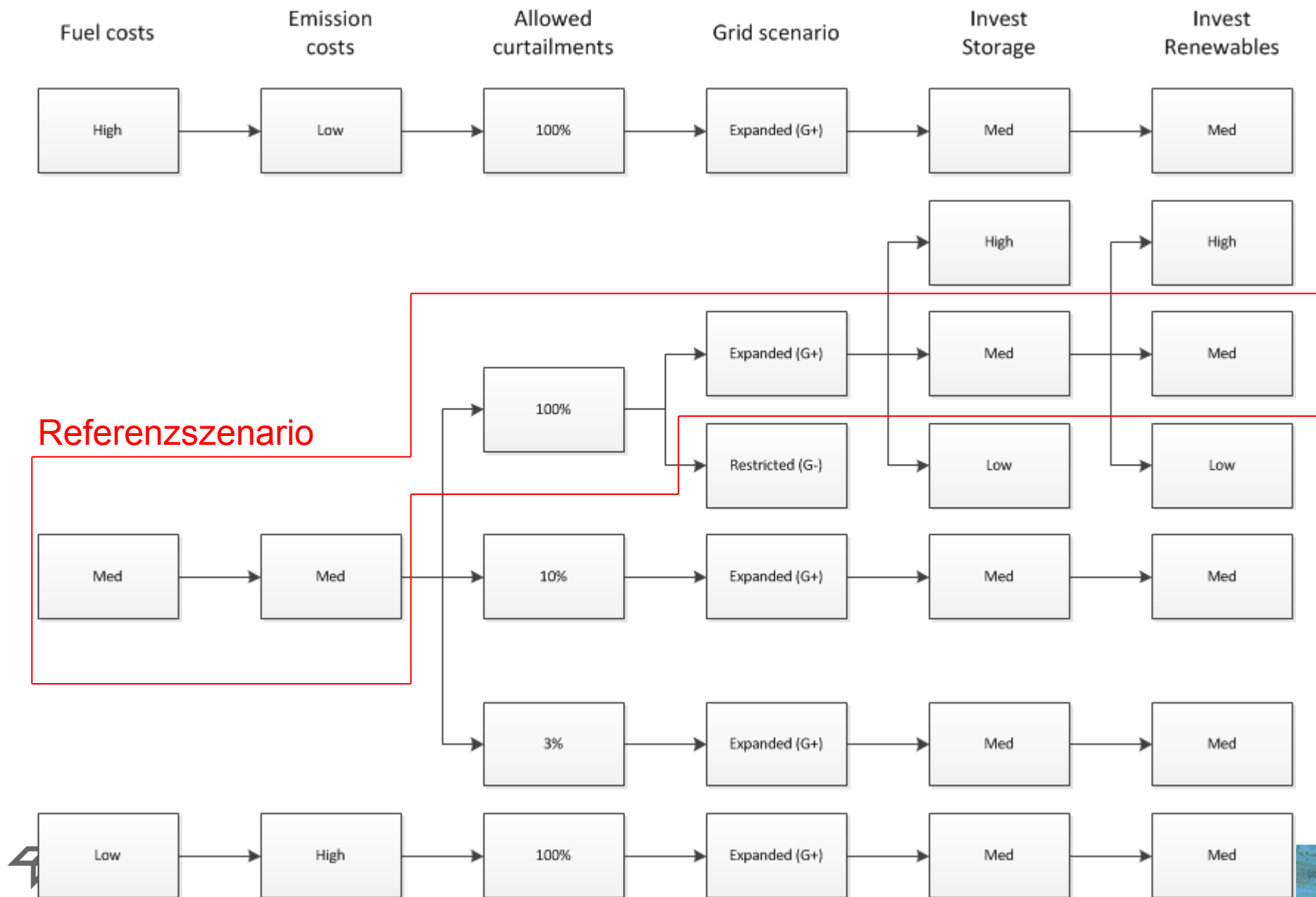


Erweiterte Leitungen



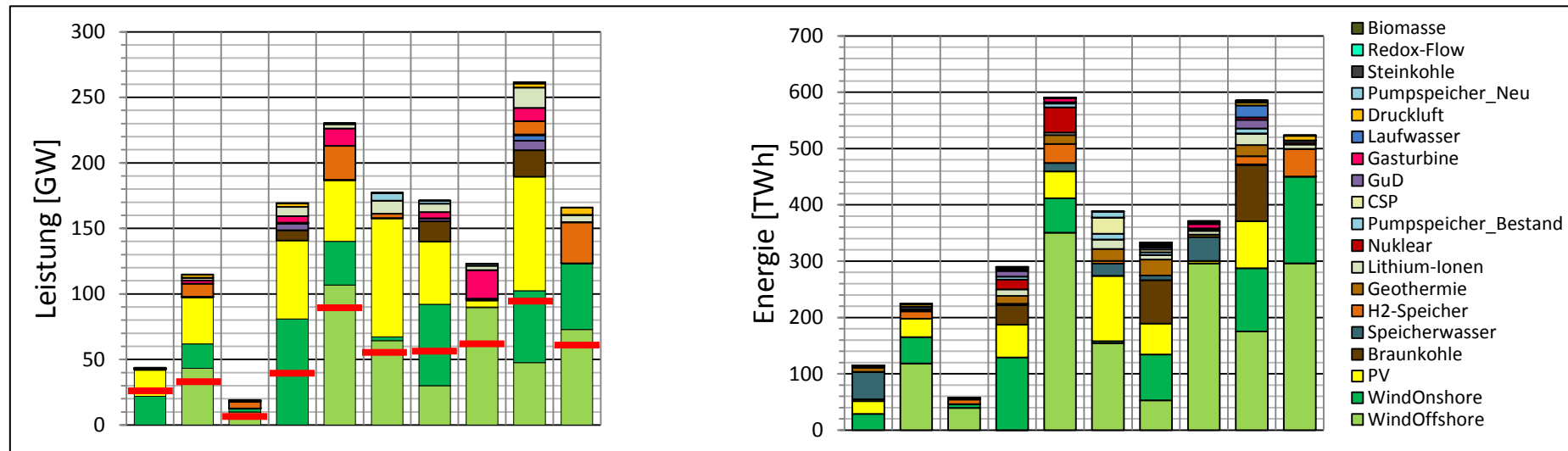
- Bidirektionale, durchschnittliche Leitungsauslastung pro Quartal
- Beispiel links: Tennet2 \Leftrightarrow Amprion2, Tennet1 \Leftrightarrow TransnetBW1

Methodik: Annahmen Sensitivitätsfälle

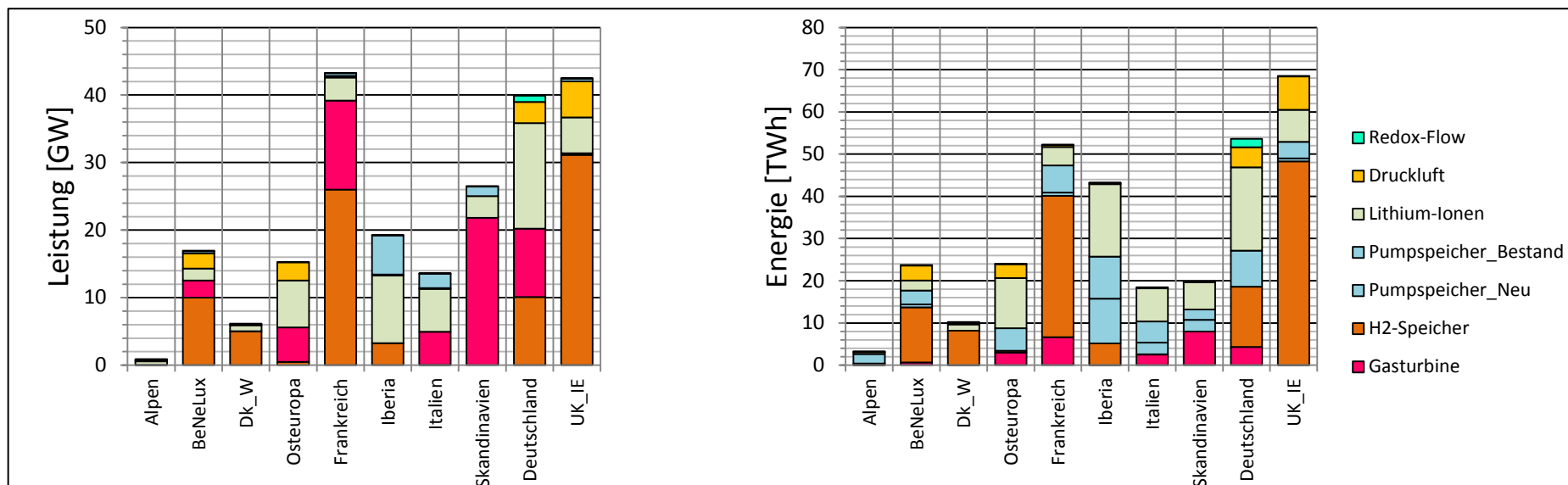


Ergebnisse: Zubau Europa, Referenzszenario

EE + Konv. Kapazitäten

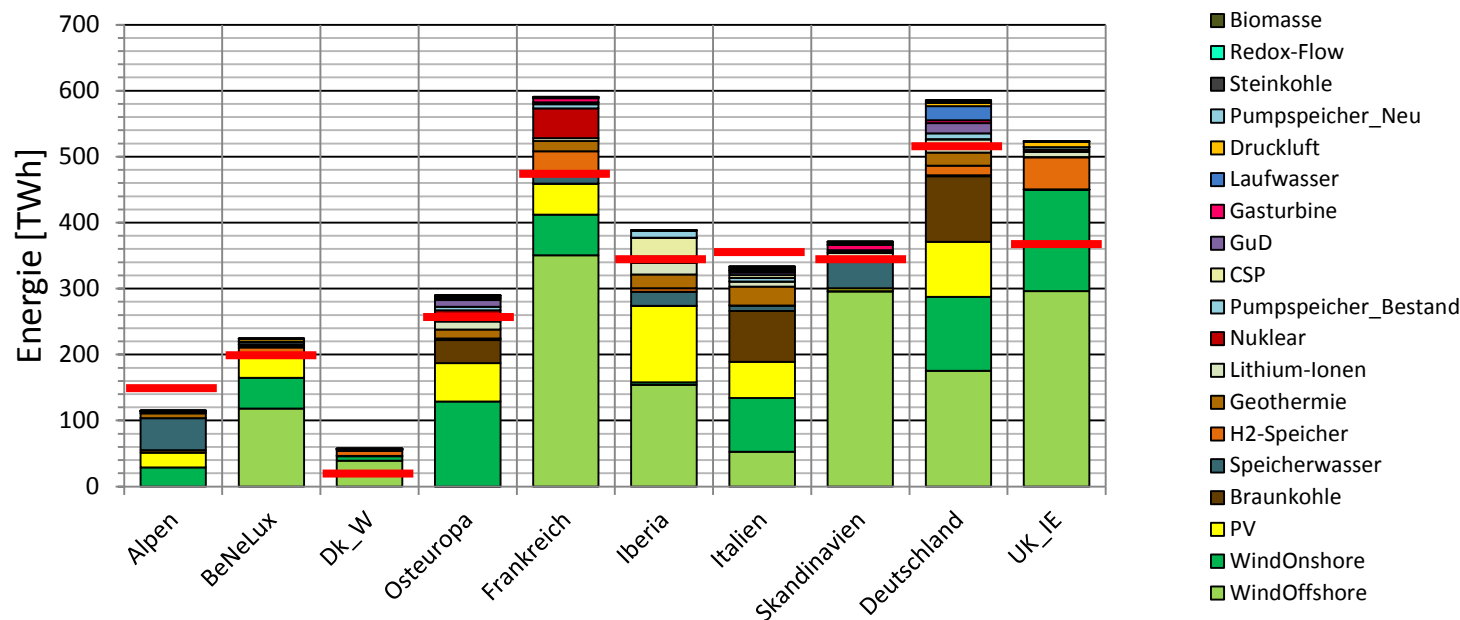


Speicher



Ergebnisse: Zubau Europa, Referenzszenario

Knotenspezifische Anteile der Bruttostromerzeugung am Bedarf

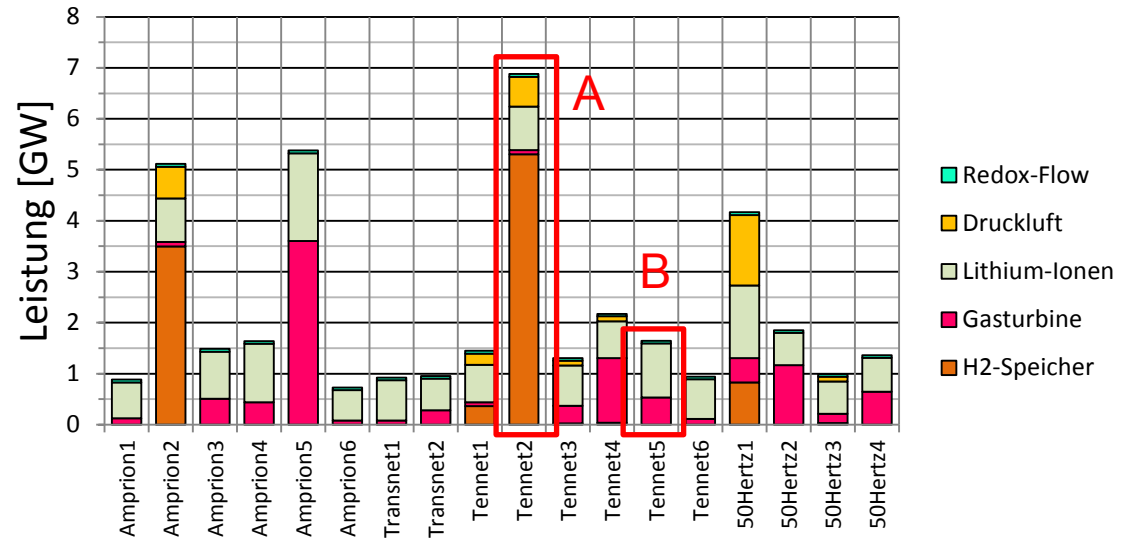


	PV	Wind on	Wind off	EE-Anteil ges.
Alpen	0.19	0.24	0.00	0.89
BeNeLux	0.16	0.23	0.59	1.00
Dk_W	0.00	0.30	1.76	2.08
Osteuropa	0.23	0.50	0.00	0.79
Frankreich	0.10	0.13	0.74	1.04
Iberia	0.34	0.01	0.45	1.01
Italien	0.17	0.25	0.16	0.70
Skandinavien	0.01	0.00	0.86	1.01
Deutschland	0.16	0.22	0.34	0.81
UK_IE	0.00	0.41	0.79	1.21



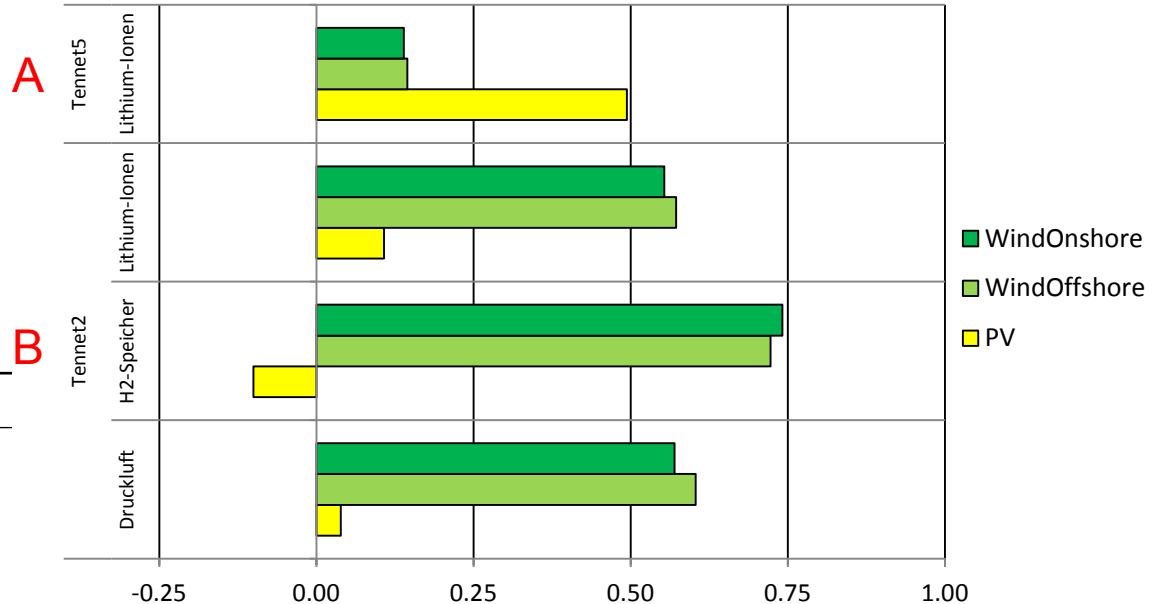
Ergebnisse: Speichierzubau Deutschland, Referenzszenario

- Speichierzubau größtenteils H2-Speicher, Lithium-Ionen u. Druckluft
- Zubau verstärkt in Regionen mit hoher Windeinspeisung
- Gesamt: ca. 40GW



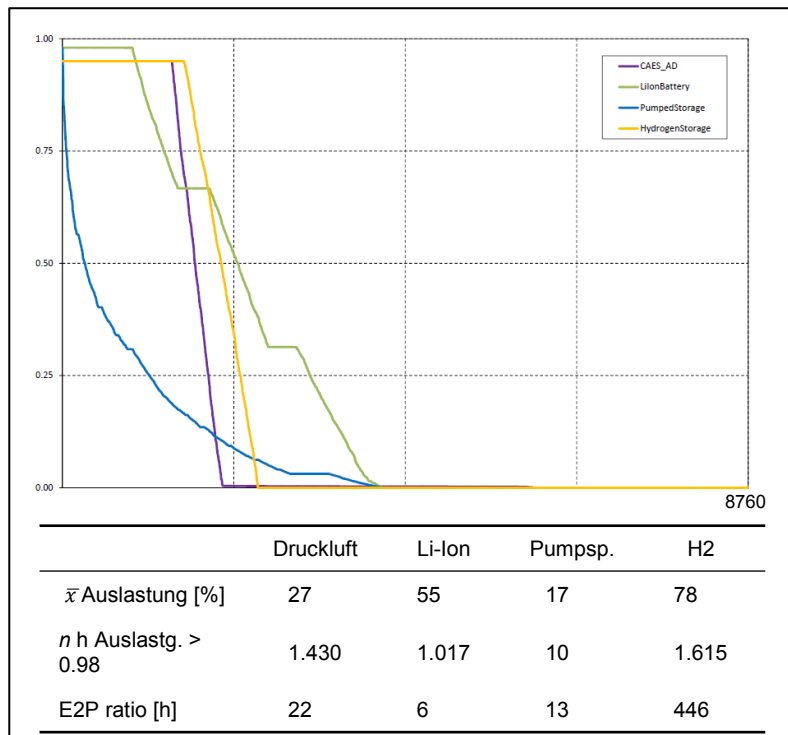
- Speicherbeladung korreliert mit der in der Region vorherrschenden erneuerbaren Ressource
- Energie-zu-Leistungsverhältnis (E2P):

E2P [h]	CAES	Li-Ion	H ₂
Tennet2	20	2	370
Tennet5	-	3	-

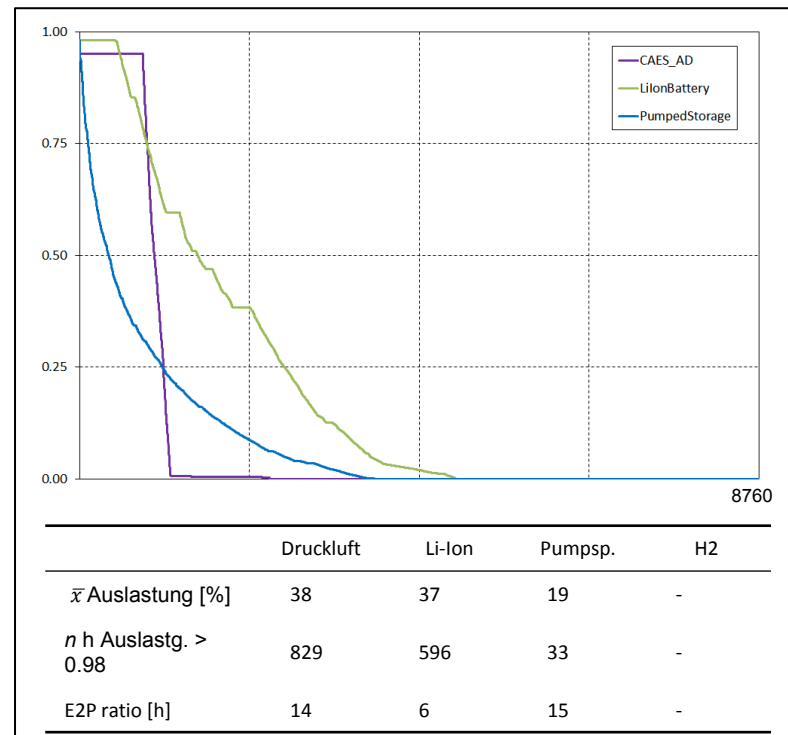


Ergebnisse: Speichernutzung Deutschland Referenzszenario

Beschränktes Netz (G-)



Verstärktes Netz (G+)

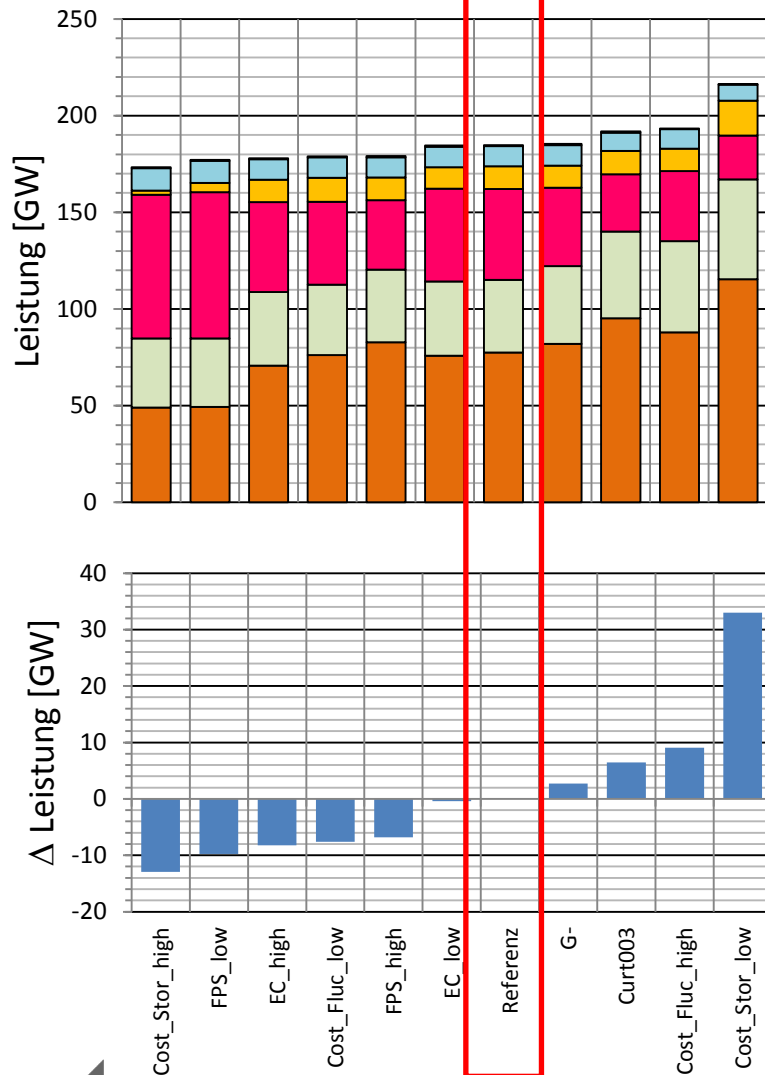


- Netzausbau kann Langzeitspeicher substituieren
- Durchschnittliche Speicherauslastung verringert sich deutlich im Szenario G+

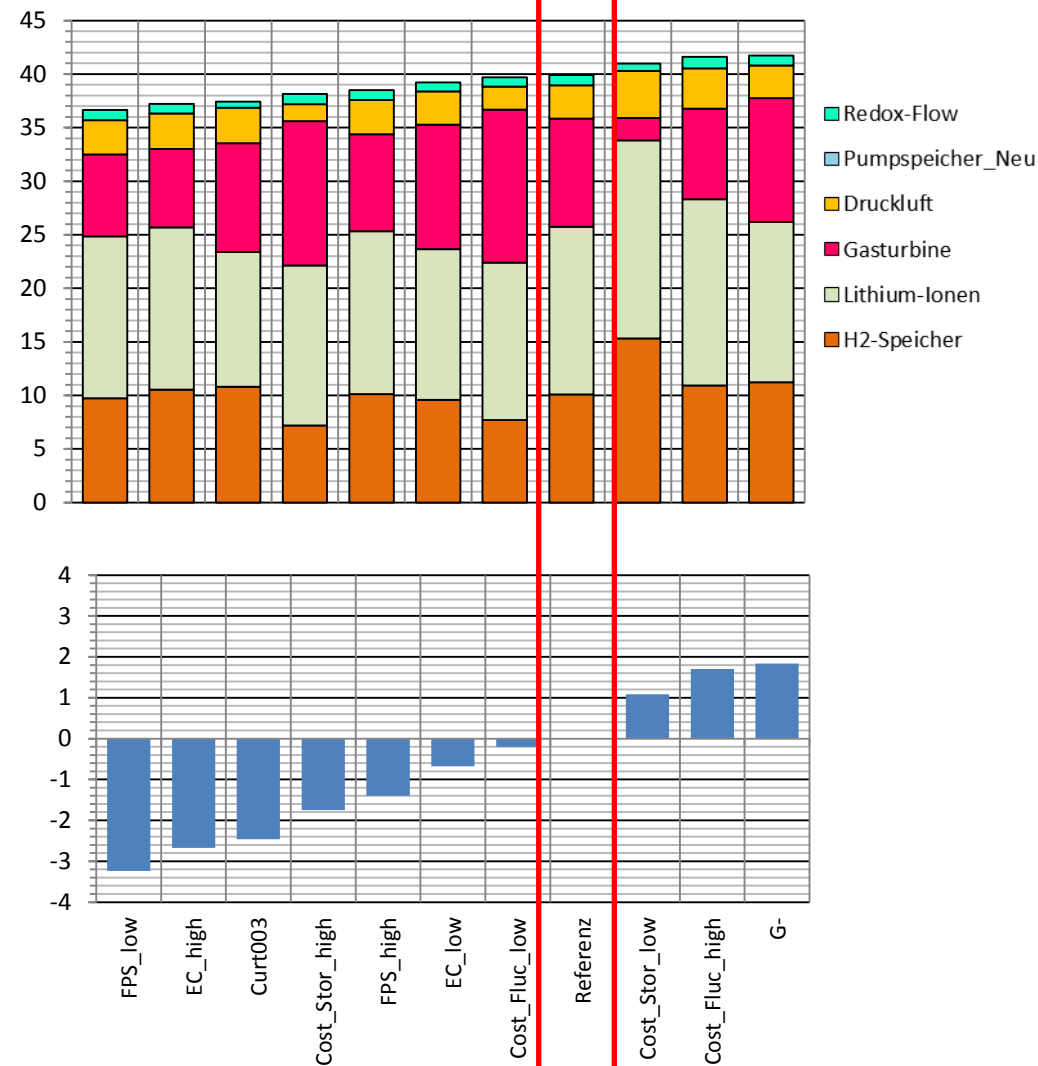


Ergebnisse: Robustheit des Speicherbedarfs?

Europa

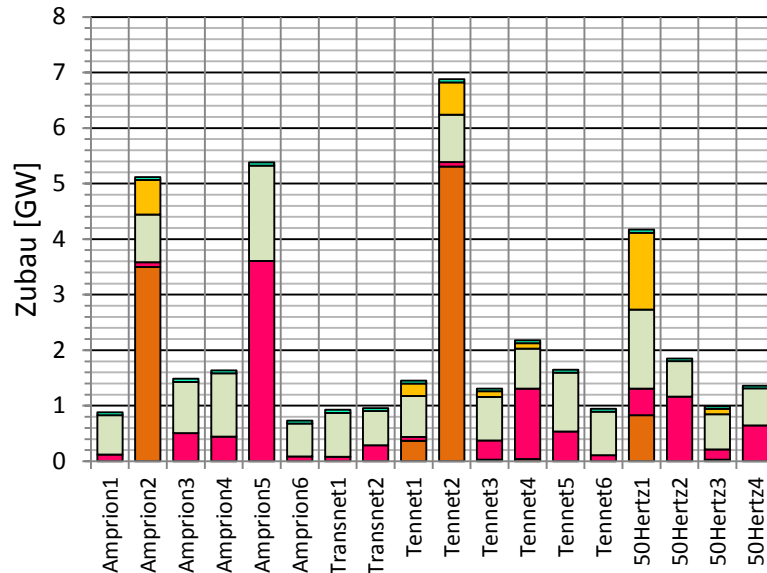


Deutschland

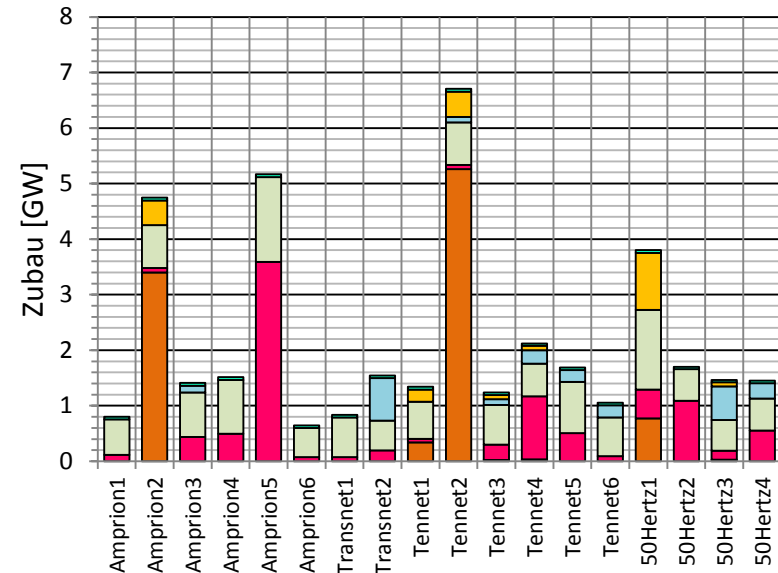


Ergebnisse: Speicherzubau: Szenario "Pumpspeicher"

Potenzial begrenzt₁: 0 GWh

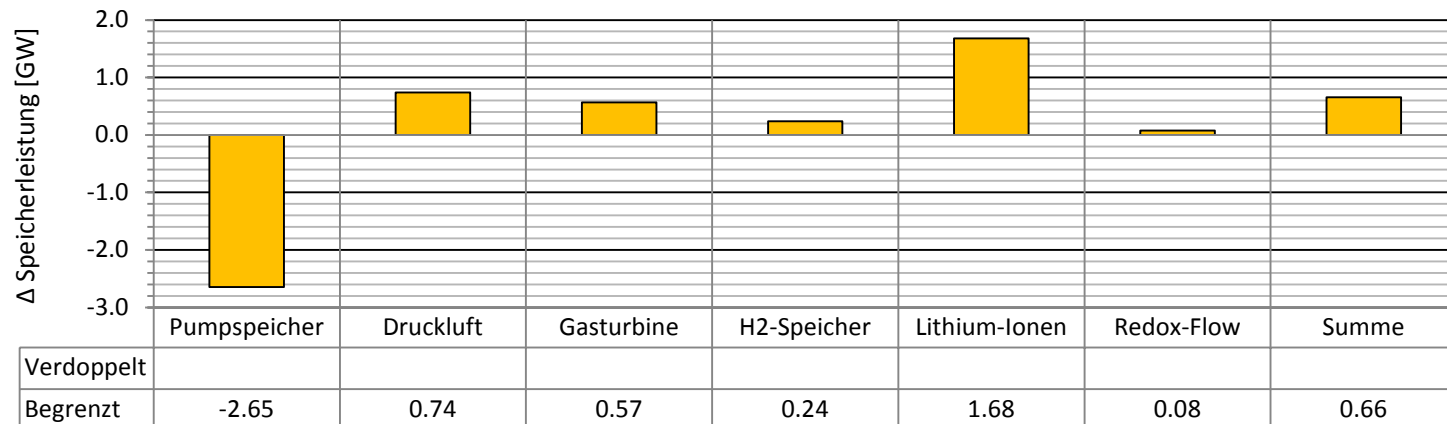


Potenzial verdoppelt: 44 GWh



- Potenzialgrenze basierend auf Marcos & Roberto 2013₁

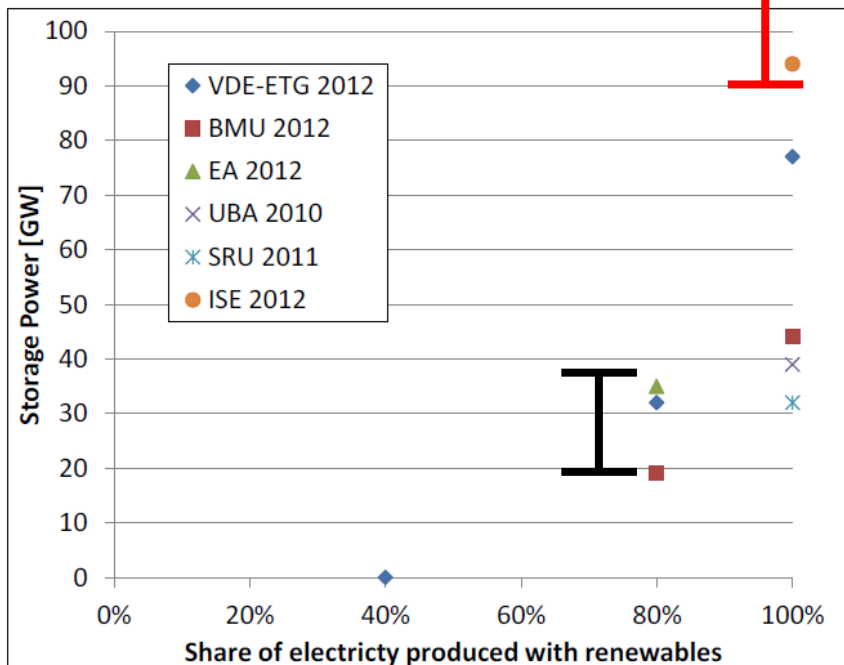
- Zubaupotenzial in Höhe der bestehenden Speicher-seekapazitäten, regional verteilt



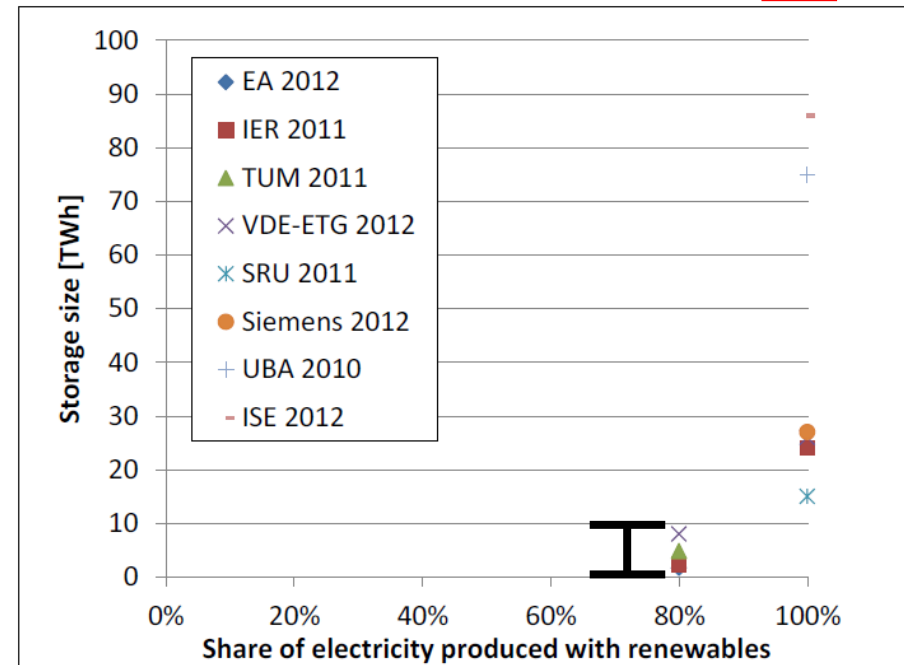
Ergebnisse

Vergleich **Modellergebnissen** mit bestehenden Arbeiten

Entladeleistung [GW]



Speicherkapazität [TWh]



300TWh

Konklusion & Ausblick

- Innerhalb der untersuchten Sensitivitätsfälle sind sowohl Speicherleistung als auch Speicherkapazität robust
- Leistung und Kapazität fallen im Vergleich zu anderen Studien eher hoch aus.
Mögliche Erklärungen:
 - Rückkopplung zum Wärmemarkt?
 - Lastseitig: Effizienzpotenziale unterschätzt, Demand Side Management
 - Fehlende Netzoptimierung
 - Hohe räumliche Auflösung der Untersuchung („wenig Kupferplatten“)
 - Weitere Ideen?
- Notwendige weitere Sensitivitäten:
 - Netz- vs. Speicheroptimierung inkl. Kostenparametervariationen
 - Verschiedene Wetterjahre
 - Lastzeitreihen
 - Weitere Flexibilitätsoptionen ggf. Kopplung zum Wärmemarkt
 - Modellierungsansatz für konventionelle Kraftwerke (MILP vs. LP)
 - Kostengebundene oder knotenspezifische Abregelungslimits



Vielen Dank!

Fragen?



Wissen für Morgen

